

Pengaruh Laju Aliran Gas N₂ Terhadap Sifat Optik Film Tipis GaN yang Ditumbuhkan Dengan Teknik Pulsed Laser Deposition (PLD)

Hendri Widiyandari¹, Maman Budiman²

(1) Laboratorium Fisika Zat Padat, Jurusan Fisika, Fak. MIPA, Universitas Diponegoro

(2) Laboratorium Fisika Material Elektronik, Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Telah ditumbuhkan film tipis GaN (Galium Nitrida) di atas substrat sapphire (0001) dengan teknik Pulsed Laser Deposition (PLD). Target bulk GaN diiradiasi dengan laser pulsa Nd:YAG dengan laju repetisi 10 pulsa/detik. Deposisi dilakukan pada suhu 700°C, sedangkan laju aliran N₂ divariasikan dari 0 hingga 150 sccm. Film tipis yang dihasilkan memberikan struktur kristal tunggal dengan orientasi (0002) dan (0004) yang menunjukkan struktur heksagonal. Dari spektroskopi UV-Vis diperoleh transmisi optik berturut-turut : 82%, 60% dan 75%, dan nilai Eg masing-masing : 3,55 eV, 3,62 eV dan 3,65 eV.

Abstract

The Gallium Nitride thin films have been grown on (0001) sapphire substrate by Pulsed Laser Deposition (PLD) method. GaN bulk target is irradiated by Nd-YAG pulse laser with repetition 10 pulses/second. Temperature growth is 700°C and N₂ flow-rate was varied from 0 – 150 sccm. The film was analyzed using XRD and UV-Vis Spectroscopy. GaN thin film had a single crystalline with orientation (0002) and (0004) which a wurtzite structure. Optical transmission was 82%, 60% and 75%, optical band-gap was 3,55 eV, 3,62 eV and 3,65 eV respectively for N₂ 50, 100 and 150 sccm.

PENDAHULUAN

Galium Nitrida (GaN) merupakan bahan semikonduktor paduan III-V yang memiliki celah energi langsung (direct band gap), dengan lebar celah pita sekitar 3,4 eV pada temperatur kamar. GaN dan paduannya secara khusus menarik perhatian para peneliti karena memiliki rentang celah energi yang sangat lebar yaitu antara 1,9 eV – 6,2 eV yang tidak diperoleh bahan semikonduktor lainnya.^[1,2]

Disebabkan oleh keunggulan sifat optik dan sifat listriknya, antar celah energi yang lebar, konduktivitas termal yang tinggi efisiensi luminisensi yang tinggi respon waktu relatif lebih cepat dan konsumsi energinya cukup rendah membuat material ini sangat memungkinkan untuk dibuat devais optoelektronik dalam rentang panjang

gelombang pendek pada spektrum cahaya tampak dan ultraviolet. Selain itu, dengan celah energi yang cukup lebar, maka devais mikroelektronik berbasis GaN ini dapat beroperasi pada temperatur yang cukup tinggi dengan derau yang relatif kecil, sehingga memungkinkan untuk dibuat devais optodetektor dengan sensitivitas yang tinggi.^[3,4]

Belakangan ini LED biru dan hijau serta dioda laser telah berhasil difabrikasi. Sedangkan material sebelumnya sebagai LED adalah SiC dan ZnSe yang kurang efisien sebagai devais optoelektronik karena memiliki celah energi yang tidak langsung (indirect band gap)^[5], bahkan telah banyak dijumpai aplikasi amaterial semikonduktor III-V ini pada Field Effect Transistor (FET, high FET dan

H-EMT), serta banyak dijumpai pada *giga-byte digital* sebagai memori optik dan CD-ROM dengan kecepatan tinggi.^[6]

Dibandingkan dengan teknik MOCVD, MBE dan VPE, PLD merupakan teknik deposisi yang relatif lebih baru dan berkembang sangat pesat. *Pulsed Laser Deposition* (PLD) yang disebut juga sebagai *Laser Deposition Ablation* (LDA) merupakan teknik penumbuhan lapisan tipis yang sederhana dan relatif ekonomis. Oleh karena itu, PLD secara luas dipelajari sebagai alternatif lain untuk penumbuhan nitrida.^[7]

Mengingat luasnya aplikasi dari film tipis GaN untuk berbagai devais dengan segala keunggulan yang dimilikinya, maka perlu dilakukan studi tentang penumbuhan serta parameter-parameternya sehingga diperoleh suatu film tipis yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi tersebut. Salah satunya adalah pengaruh parameter laju aliran nitrogen terhadap sifat optik film tipis GaN yang dihasilkan.

DASAR TEORI

Gallium Nitrida

GaN merupakan salah satu material prospektif dengan celah pita energi (*band gap*) yang lebih lebar dibandingkan SiC., sehingga material ini dapat diaplikasikan untuk devais elektronik dan optoelektronik pada temperatur dan daya yang tinggi. GaN juga memiliki ikatan yang sangat kuat dan bersifat ionic dengan energi ikat sebesar 4,2 eV dimana lebih besar dari energi ikat C-C dalam intan (3,8 eV). GaN mulai terurai (terdekomposisi) pada temperatur tinggi (2792 K). Kekristalan film tipis GaN umumnya terbentuk pada temperatur deposisi antara 700°C hingga 1080°C, namun dengan bantuan plasma dapat lebih rendah. Sebagaimana binary senyawa-senyawa grup III-V yang lain, GaN dapat berada dalam dua bentuk struktur

kristal yang berbeda yaitu struktur wurtzite (heksagonal) dan struktur zincblende (kubik). GaN dengan struktur heksagonal memiliki celah pita energi $E_g = 3,4$ eV, sedangkan pada struktur kubik GaN memiliki E_g sebesar 3,2 eV – 3,3 eV pada temperatur ruang.^[9] Monemar memberikan persamaan empirik yang menggambarkan ketergantungan celah pita energi terhadap temperatur, sebagai berikut :

$$E_g = 3,503 + \frac{5,08 \times 10^{-4} T^{-2}}{T - 996} \quad (1)$$

dimana nilai 3,503 eV bersesuaian dengan celah pita energi pada temperatur 1,6 K.^[10] Konstanta kisi GaN pada struktur kubik adalah $a = 4,52$ Å, sedangkan pada struktur heksagonal adalah $a = 3,189$ Å dan $c = 5,185$ Å. GaN pada struktur heksagonal lebih stabil dan lebih mudah ditumbuhkan dibandingkan GaN pada struktur kubik.

Substrat Sapphire (Al_2O_3)

Pemilihan substrat merupakan factor penting yang menentukan kualitas kristal dari lapisan epitaxial. Kesulitan utama dalam penelitian tentang GaN adalah masih sedikitnya bahan substrat yang memiliki kesesuaian kisi yang tinggi serta secara termal cocok dengan GaN. Kerapatan dislokasi akan muncul pada lapisan GaN oleh karena ketidaksesuaian kisi (*lattice mismatch*) serta adanya perbedaan koefisien ekspansi termal antara substrat dengan film mengakibatkan mobilitas yang rendah dan konsentrasi pembawa yang menjadi tinggi^[10]

Sapphire (Al_2O_3) merupakan substrat yang paling sering digunakan dalam penumbuhan GaN secara epitaxial dengan pertimbangan kualitas kristalnya baik pada ukuran besar, transparan, stabil pada temperatur tinggi dan harganya relatif tidak mahal.^[9] Sapphire memiliki struktur kristal heksagonal, yang terdiri dari bidang-

bidang *heksagonal-close-packed* dari atom oksigen dan yang saling bergantian dengan susunan heksagonal dari atom aluminium, dimana bidang dari atom-atom Al 1/3 dari bagiannya kosong. Bidang-bidang pada sapphire yang sering digunakan untuk keperluan penumbuhan GaN secara epitaxial adalah c-plane {0001}, r-plane {1102}, a-plane {21 10} dan m-plane {1100}. Sapphire pada bidang c-plane paling sering digunakan pada epitaxial GaN heksagonal, karena memiliki co-orientasi dengan GaN heksagonal.

Sistem Reaktor PLD

PLD yang juga dikenal dengan *Ablation deposition* (LAD) merupakan teknik penumbuhan film tipis secara fisika yang berkembang pesat dewasa ini^[7] Secara konsep dan eksperimen, PLD adalah sangat sederhana diantara teknik penumbuhan film tipis lainnya. Target dan substrat diletakkan saling berhadapan, di dalam vacuum chamber, tenaga laser digunakan untuk sebagai sumber energi eksternal untuk menguapkan sebagian kecil material target. Seperangkat komponen optik digunakan untuk memfokuskan berkas laseryang mengenai permukaan target.

Mekanisme penguapan material bergantung pada karakteristik laser dan juga sifat-sifat dari target. Ketika radiasi laser diserapoleh permukaan target maka energi elektromagnetik pertama akan berubah menjadi eksitasi elektron dan kemudian menjadi energi termal, energi kimia, energi gerak yang menyebabkan terjadinya penguapan, ablasi dan eksitasi. Penguapan ini berbentuk plume (plasma) yang terdiri dari campuran atom, molekul, elektron ion dan zat-zat partikulasi berukuran mikron.^[11] Secara garis besar proses dalam PLD dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu : interaksi laser dengan target, transport material terevaporasi dari target menuju substrat dan terakhir kondensasi dan penumbuhan film.

Ablasi secara terus-menerus pada satu titik akan menyebabkan timbulnya kekasaran permukaan (*surface roughness*), dimana iradiasi selanjutnya dari permukaan ini akan menyebabkan terjadinya pelepasan partikel-partikel kecil berukuran 1 – 10 μm (*dropled*). Partikel-partikel ini tidak diharapkan karena dapat menyebabkan kekasaran permukaan secara makroskopis pada film yang ditumbuhkan dan untuk menghindari hal ini maka target diputar dengan kecepatan sekitar 20 rpm.

Penumbuhan film tipis semikonduktor paduan III-V telah dimulai dari awal tahun 80-an. Namun hasil penelitian memberikan tingkat keberhasilan yang kecil karena film yang dihasilkan masih menunjukkan defisiensi unsur-unsur grup lima. Gapanov memberikan solusi tepat untuk mengkompensasi hilangnya unsur grup lima akibat reevaporasi yaitu dengan menggunakan suatu sumber unsur grup lima yang terpisah, dengan kata lain dengan menggunakan gas latar dari unsur-unsur grup lima, dalam penelitian ini dengan menggunakan gas nitrogen. Gas ini juga berfungsi untuk menjaga kesetimbangan stoikiometri lingkungan pendeposisian film.^[7]

SIFAT OPTIK GaN

Sifat celah pita langsung yang dimiliki AlN, InN dan GaN memberikan efisiensi dalam emisi cahaya dan laser. Dalam interaksi foton dengan bahan, gelombang elektromagnetik dipancarkan dalam bentuk paket-paket energi yang disebut sebagai foton,. Energi tiap foton dituliskan sebagai berikut :

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

dengan h adalah konstanta Planck.

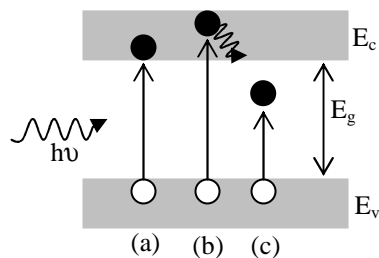
Ketika cahaya mengenai suatu bahan maka sebagian akan diserap, dipantulkan dan ditransmisikan. Pada dasarnya terdapat tiga proses interaksi antara foton dengan elektron dalam

bahan, yaitu : absorpsi, emisi spontan dan emisi terimbas.

Transisi dasar dari semikonduktor diperlihatkan pada Gambar 1 dibawah ini. Ketika semikonduktor disinari maka foton diserap kemudian terbentuk pasangan elektron-hole (a), disini jika $h\nu = E_g$. Ketika $h\nu > E_g$ pasangan elektron-hole terbentuk dan kelebihan energi ($h\nu = E_g$) diubah dalam bentuk panas (b). Proses (a) dan (b) ini disebut sebagai transisi intrinsik (*band to band transition*). Saat $h\nu < E_g$ maka foton akan diserap, jika terdapat keadaan energi dalam celah terlarang akibat dari adanya cacat, terjadi transisi ekstrinsik (c). Proses absorpsi foton menyebabkan transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dengan energi foton harus sama atau lebih besar dari energi gap-nya, dengan frekuensi ν , sebagai berikut:

$$\nu \geq \frac{E_g}{h} \quad (3)$$

frekuensi $\nu_0 = \frac{E_g}{h}$ berkaitan dengan tepi absorpsi (*absorption edge*)



Gambar 1. Transisi dasar dari semikonduktor

METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi Target GaN

Untuk pembuatan target GaN dengan ukuran diameter 1,6 cm dan ketebalan 0,5 cm diperlukan 25 gr serbuk GaN (99,999%). Serbuk terlebih dulu digerus, dimasukkan ke cetakan untuk dipeletisasi atau dipres pada tekanan $7 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$. Pelet GaN kemudian disintering pada temperatur 650°C selama 15 jam dalam lingkungan

Nitrogen. Tahap terakhir dari pembuatan target GaN ini adalah karakterisasi terhadap target yang telah jadi, karakterisasi yang diperlukan adalah XRD yang nantinya digunakan sebagai bahan referensi.

Proses deposisi

Pada proses deposisi ini terbagi dalam tiga tahapan: (1) proses preparasi substrat, (2) proses pradeposisi dan (3) proses deposisi termasuk didalamnya *coolingdown*.

Pada proses preparasi substrat, Al_2O_3 (0001) yang digunakan sebagai substrat dipotong dengan ukuran $(0,5 \times 0,5)$ cm, lalu substrat dibersihkan dengan aceton selama 10 menit dilanjutkan dengan metanol masing-masing dengan menggunakan *ultrasonic cleaning*, substrat dibilas dengan DI-water. Setelah substrat dicuci langkah berikutnya adalah *etching*, proses *etching* untuk substrat Al_2O_3 dengan menggunakan larutan $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan 3:1:1, selama 5 menit. Setelah dibilas dengan DI-water, substrat dikeringkan dengan gas Nitrogen.

Pada tahap pradeposisi, substrat Al_2O_3 dilekatkan dengan menggunakan pasta perak di atas *target holder* yang ada di atas *heater* pada reaktor PLD. Setelah dimasukkan dalam *chamber*, dilakukan proses pemanasan hingga temperatur 100°C agar pasta kering. Kemudian *chamber* divakumkan. Jika derajat kevakuman dan temperatur telah tercapai, gas N_2 dialirkan hingga tekanan dinamik N_2 dalam *chamber* tercapai ($\sim 0,1 \text{ mbar}$)

Pada tahap deposisi, jika parameter-parameter deposisi yang diinginkan telah tercapai dan laser telah dipanaskan selama 20 menit serta shutter yang menutupi substrat telah diputar maka proses deposisi dimulai. Deposisi dimulai dengan menghidupkan aksi laser dengan menekan tombol “shutter” pada bagian pembangkit laser

(power/cooling unit). Plume plasma yang terbentuk pada proses ini diharapkan mencapai substrat. Setelah tahap deposisi selesai dilakukan pendinginan terhadap sampel hingga mendekati suhu kamar. Proses pendinginan dilakukan bertahap dengan laju $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, hal ini dilakukan agar tidak terjadi kerusakan kristal pada film.

Proses karakterisasi

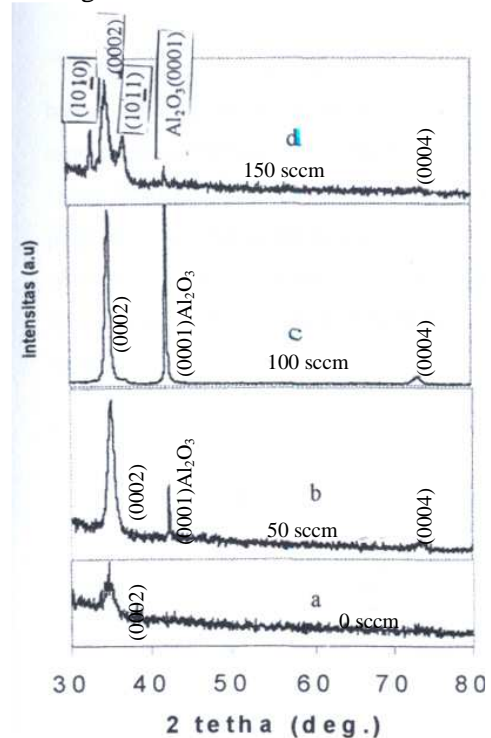
Karakterisasi film tipis GaN dilakukan untuk mengetahui kualitas dan sifat-sifat fisis dari film yang telah dibuat. Karakterisasi yang dilakukan adalah X-Ray Defraktometer (XRD) dan Spektroskopi UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju aliran N_2 sangat mempengaruhi hasil film yang diperoleh hal ini berkaitan dengan fluks N_2 yang ada pada lingkungan pendeposisian. N_2 yang berasal dari sumber luar bertujuan untuk mengkompensasi kehilangan unsur golongan V dari GaN selama proses deposisi. Gambar 2. memperlihatkan pola XRD dari film tipis yang ditumbuhkan masing-masing pada laju aliran N_2 0 sccm, 50 sccm, 100 sccm dan 150 sccm. Dari gambar tersebut nampak adanya puncak-puncak difraksi GaN pada sudut 2θ : 35° dan $73,3^{\circ}$ dengan orientasi masing-masing (0002) dan (0004) yang menunjukkan adanya struktur heksagonal. Dapat dilihat bahwa film tipis yang terbentuk sudah menghasilkan suatu struktur kristal tunggal (*single crystal*).

Laju aliran N_2 selama proses deposisi mempengaruhi sifat optik film tipis yang ditumbuhkan. Gambar 3. menggambarkan grafik transmisi optik film tipis GaN dalam rentang panjang gelombang 200 – 800 nm untuk berbagai laju N_2 . Naiknya laju aliran N_2 yang diberikan selama deposisi akan memungkinkan semakin banyaknya atom N yang berikatan mengisi kekosongan pada film yang terbentuk,

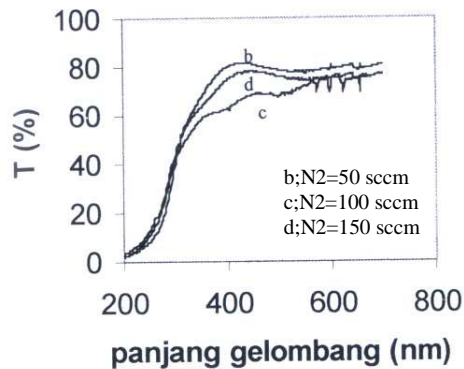
sehingga transmisi optiknya akan meningkat.



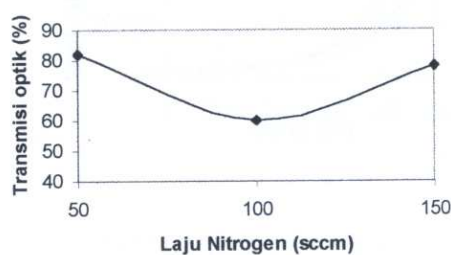
Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD

Film yang banyak mengandung atom Ga atau film yang mengandung kekosongan N akan menghasilkan reduksi transmisi optik akibat absorpsi.^[13] Hal ini disebabkan karena koefisien absorpsi atom Ga lebih besar dari pada atom N sehingga film atom yang kaya atom Ga akan lebih mengabsorpsi cahaya. Sehingga diharapkan dengan bertambahnya laju aliran N_2 selama deposisi akan meningkatkan transmisi optik dari film tipis GaN yang ditumbuhkan. Namun dari Gambar 4 diperoleh ketika laju aliran N_2 dinaikkan dari 50 sccm hingga 100 sccm justru menyebabkan transmisi optik film yang ditumbuhkan turun drastis dari 82% menjadi 60%. Hal ini disebabkan pada film dengan laju N_2 100 sccm mengandung banyak atom Ga atau masih banyak kekosongan N. Pada film yang ditumbuhkan dengan laju N_2 150 N terjadi kenaikan transmisi optik menjadi 75%, namun tidak lebih besar

dari film yang ditumbuhkan pada laju N_2 50 sccm, hal ini dikarenakan pada penumbuhan dengan laju yang terlalu besar akan merusak film yang ditumbuhkan, permukaan film akan kasar (*rough*) dan menyebabkan transmisinya turun akibat hamburan.



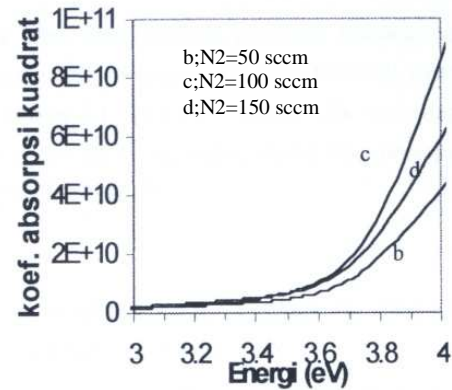
Gambar 3. Transmisi optik film GaN pada spektrum UV-Vis



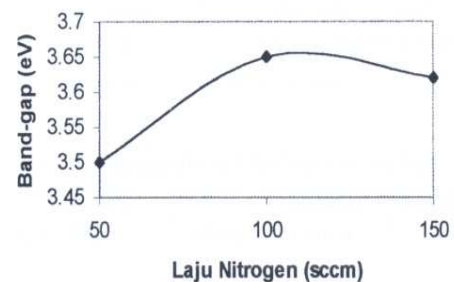
Gambar 4. Transmisi optik sebagai fungsi dari laju aliran N_2

Besarnya energi gap dari film tipis GaN yang telah ditumbuhkan ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Harga energi gap dari masing-masing film tipis adalah 3.55 eV, 3.62 eV dan 3.65 eV dimana harga energi gap yang diperoleh lebih besar dari pada harga energi GaN dari referensi (GaN murni tanpa cacat) yaitu sebesar 3.4 eV pada temperatur ruang. Hal ini disebabkan oleh adanya cacat pada film tipis GaN yang ditumbuhkan, terutama cacat struktural yaitu kekosongan (*vacancy*) dan regangan (*strain*) akibat ketidaksesuaian kisi dan koefisien ekspansi termal antara substrat sapphire dan lapisan epitaksi GaN. Regangan

yang timbul akibat proses *cooling down* akan menyebabkan naiknya nilai band gap^[7]



Gambar 5. Grafik hasil perhitungan Energi Gap, E_g



Gambar 6. Grafik Energi Gap terhadap laju aliran N_2

KESIMPULAN

Film tipis GaN yang terbentuk memiliki struktur kristal tunggal (*single crystal*) dengan puncak-puncak difraksi pada sudut $2\theta : 35^\circ$ dan $73,3^\circ$ dengan orientasi masing-masing (0002) dan (0004) yang menunjukkan adanya struktur heksagonal. Laju aliran N_2 yang diberikan selama proses deposisi mempengaruhi sifat optik yaitu transmisi dan band gap, dengan transmisi terbesar sebesar 82% dan band gap terkecil sebesar 3.55 eV pada laju 50 sccm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.P.O.Donnel, 1998, *Beyond Silicon : The rise of Compound Semi-conductors, dalam Group III-Nitrid Semiconductor Compound: Physics and Application*, Bernard Gill (Ed), Oxfort University Press, New York.
- [2] M. Benamuraz.L. Weber, J.H. Mazur, W. Swiden, J. Washburn, M.I. Waya, I. Akasaki, H. Amano, Role of Multy Buffer Layer Technique on Structural Quality of GaN, *MRS Internet J. Nitride Semiconductor Res.*
- [3] B.Zhou, 1996, *Ultraviolet Laser and Remote Plasma Enhancement in Low Temperature Chemical Vapor Deposition of Gallium Nitride*, Doctoral Dissertation, Macquarie University, Sydney.
- [4] D.Cole, J.G. Lunney, 1997, *GaN Thin Film Deposited by Pulsed Ablation in Nitrogen and Amonia Reactive Atmosphere*, Material Science and Engineering.
- [5] J.W. Orton, C.T. Foxon, 1999, *Group III-Nitride Semiconductor for Short Wavelength Ligt Emitting Diode*, IOP Publishing, Ltd
- [6] M.V. Averyanova, S.Yu, Karpov, M.S. Ram, I.N. Przhevalskii. R.A. Talalaev, Yu.N.Makarov, 1999, Theoretical Model for Analysis and Optimization of Group III-Nitride Growth by Moleculer Beam Epitaxy, *MRS Internet J. Nitride Semiconductor. Res. 1 (31)*
- [7] Chrisay, D.B Hubler. G.K, 1994, *Pulsed Laser Deposition of Thin Film*, John Willey and Son , New York
- [8] F.A.Ponce, 1998, *Structural Defect and Materials Performance oof The III-V Nitride, dalam Group III-Nitrid Semiconductor Compound: Physics and Application*, Bernard Gill (Ed), Oxford University Press, New York.
- [9] G.Popovici, H.Markoc, S.N. Mohammad, 1998, *Deposition and Properties of Group III-Nitrides by Molecular Beam Epitaxy, dalam Group III-Nitrid Semiconductor Compound: Physics and Application*, Bernard Gill (Ed), Oxfort University Press, New York.
- [10] T.L.Tansley, E.M. Goldys, M.Godlewski, B.Zhou, H.Y.You, 1997, *The Contribution of Defects to The Electrical and Optical Properties of GaN, dalam Optoelectronic Properties of Semiconductor and Superrlattice Vol.2 : GaN and Related Materials*, S.J. Pearton (Ed), OPA Amsterdam B.V. Publised, Netherland.
- [11] H.Y.Zuo, 1999, *Optical and Electronic Properties of GaN: A Comparision Study with Reference to Laser Induced CUD Film*, Doctoral Dissertation, Macquarie University, sydney
- [12] T.F. Huang, A. Marshall, S. pruytte, J. S. Harris Jr., 1999, *Optical and Structure Properties of Epitaxial GaN Film Grown by Pulsed Laser Deposition*, J. Crystal Growth 200, p.362 - 367.